



TITLE:

時間分解X線イメージングを用いた
Fe-C系およびFe-Cr-Ni系合金におけ
るマッシブ的変態の解明(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

西村, 友宏

CITATION:

西村, 友宏. 時間分解X線イメージングを用いたFe-C系およびFe-Cr-Ni系合金におけるマッシブ的変態の解明. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20363>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により要約は2018-03-23に公開; 許諾条件により本文は2019-04-01に公開

京都大学	博士（ 工 学 ）	氏名	西村 友宏
論文題目	時間分解 X 線イメージングを用いた Fe-C 系および Fe-Cr-Ni 系合金におけるマッシブ的変態の解明		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、放射光を利用した時間分解 X 線イメージングにより、Fe-C 系合金で見出されている凝固過程もしくは直後に起こるデルタ相(BCC 構造)からガンマ相(FCC 構造)へのマッシブ的変態の特徴について種々の調査をまとめたものであり、4 章から構成されている。</p> <p>第 1 章は序論であり、デルタ相と液相からガンマ相が生成する包晶反応をともなう Fe-C 系合金の凝固過程と変形や割れなどの鑄造欠陥の関係について従来の研究や最近見出されたデルタ相からガンマ相への固相変態であるマッシブ的変態を述べている。さらに、SPring-8 などの放射光施設における硬 X 線領域の高輝度単色光を用いた時間分解 X 線イメージングの特長を生かした研究の位置づけと目的の設定を行っている。</p> <p>第 2 章では、Fe-C-Mn-Si 四元系合金および Fe-C 二元系合金を対象に Fe-C 系合金におけるマッシブ的変態を時間分解・その場観察により調べた結果を報告している。</p> <p>四元系合金、二元系合金ともに、0.1mm 厚の薄膜状試料の観察により、炭素濃度が 0mass%から 0.45mass%の範囲でマッシブ的変態が支配的に選択されること、0.17K/s から 0.83 K/s までの冷却速度では、マッシブ的変態の選択に冷却速度は影響しないことを明らかにしている。さらに、デルタ相と液相の共存状態やデルタ相の固相中においてガンマ相の核生成は容易に起こらず 100K 以上も過冷すること、過冷度は 100K 程度のばらつきがあることを見出している。これらの実験結果に基づいて、ガンマ相の核生成が困難なことがマッシブ的変態の選択に寄与していることを明らかにしている。</p> <p>X 線の透過像と回折像を解析することにより、マッシブ的変態ではデルタ相の結晶粒内で多数のガンマ結晶粒が生成することを見出し、ガンマ相の核生成と成長の繰り返しの進行する、マッシブ的変態の形態を明らかにしている。マッシブ的変態から数 s から数 10s の時間で微細なガンマ相は粗大化することもあわせて見出している。</p> <p>変態にともなう体積の時間変化を定量的に扱うために、マッシブ的変態におけるデルタ/ガンマ界面移動の高時間分解能観察を実現している。この手法を用いて、デルタ/ガンマ界面の移動をその場観察し、平均移動速度と局所的移動速度を定義して界面移動の特徴を定量化している。デルタ/ガンマ界面は局所的には ms スケールの時間、mm スケールの空間で変動すること、平均移動速度は過冷度に依存しないこと、平均移動速度と局所的移動速度のいずれも Mn と Si に影響されないことを明らかにしている。</p> <p>マッシブ的変態に及ぼす試料サイズの影響を調べるため、厚さ 1 mm のバルク状試料を対象としたその場観察の手法を開発し、試料厚さがマッシブ的変態に影響しないことを明らかにしている。過冷状態からのマッシブ的変態の駆動力、変態にともなう体積変化により生じる弾性エネルギーを評価して観察結果を検討し、いずれもマッシブ的変態におけるデルタ/ガンマ界面の移動速度を決定する主因子ではないことを示している。また、一方向凝固過程のその場観察も実現し、定常成長に近い条件でもマッシブ的変態が選択されることを実証している。さらに、一方向凝固ではマッシブ的変態により生成した微細なガンマ粒と粗大化したガンマ粒が数 100 マイクロメータの距離</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	西村 友宏
<p>で近接することも明らかにしている。</p> <p>以上の実験結果と考察により、Fe-C 系合金のマッシブ的変態の特徴を整理した上で、現実の鑄造プロセスにおいても鑄片の表層部では過冷したデルタ相中でマッシブ的変態が起こること、鑄片の内部でも包晶反応ではなくマッシブ的変態が起こることを導き、凝固組織の制御や鑄造欠陥の抑制に寄与する貴重な知見を得ている。</p> <p>第 3 章では、Fe-Cr-Ni 系合金でのマッシブ的変態について時間分解・その場観察により調べた結果を報告している。</p> <p>Cr 濃度を 18mass% に固定した Fe-Cr-Ni 系合金において、Ni 濃度が 20mass% までの組成範囲でデルタ相からガンマ相へのマッシブ的変態が起こることを明らかにしている。特に、平衡状態図上ではガンマ相が凝固過程の初晶となる組成領域でも融液中の核生成によりデルタ相が選択され、準安定なデルタ相からガンマ相へのマッシブ的変態が起こることを示している。これは、マッシブ的変態が起こる組成領域を理解する上で有益な知見である。</p> <p>Fe-Cr-Ni 系合金におけるガンマ相の核生成について調査し、ガンマ相の核生成温度がばらつくこと、デルタ/ガンマ界面の平均移動速度が過冷度で一意に決まらないこと、デルタ/ガンマ界面は局所的に ms の時間スケール、mm の空間スケールで変動することを明らかにしている。</p> <p>Fe-Cr-Ni 系合金でも Fe-C 系合金と同様のマッシブ的変態が起こり、同じ特徴を有していることについて議論し、融点付近でデルタ相とガンマ相の安定性が拮抗する Fe 系合金ではマッシブ的変態の選択に一般性があることを合理的に提案している。Fe 系合金の凝固現象の理解から凝固組織の制御、鑄造欠陥の抑制まで寄与できる知見であることを示している。</p> <p>第 4 章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、Fe-C 系合金および Fe-Cr-Ni 系合金で見出した凝固過程もしくは凝固直後に起こるマッシュ的変態を、時間分解 X 線イメージングによりその場観察し、マッシュ的変態の特徴を定量的に明らかにした成果をまとめた論文であり、得られた主な成果は、次の通りである。

1. マッシュ的変態は 0.1mm 厚の薄膜状試料から 1mm 厚のバルク試料にわたり起こることを観察により実証している。さらに、定常凝固に近い凝固条件においても、マッシュ的変態が選択されることを明らかにしている。これらの成果は、炭素鋼をはじめとした鉄鋼材料における従来の包晶凝固の概念を刷新し、実際の casting プロセスにおいても casting 片の表層部から内部にかけてマッシュ的変態が選択されることを強く示唆する新しい知見である。

2. マッシュ的変態における微細ガンマ相の形成から急激な粗大化までを観察により明らかにしている。ガンマ相の粗大化がマッシュ的変態と関係していることが示されており、凝固過程から凝固直後の組織形成を理解する成果である。

3. Fe-Cr-Ni 系合金でもマッシュ的変態が選択されることを明らかにしている。平衡凝固で初晶がガンマ相の組成においても、初晶でデルタ相が優先的に選択され、マッシュ的変態が起こることを明らかにしている。マッシュ的変態の選択条件が、ガンマ相の核生成の困難さに起因していることを明らかにしており、マッシュ的変態が Fe 系合金に一般性のある変態であることを示唆する成果である。

本論文は、Fe-C 系合金および Fe-Cr-Ni 系合金で選択されるマッシュ的変態の特徴を基礎的に明らかにしているだけでなく、実際の casting プロセスでもマッシュ的変態が起こる可能性を示しており、casting プロセスにおける組織制御や casting 欠陥抑制に寄与する成果である。本論文の内容は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 2 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。